Wärmebilanz

eines zum Einschmelzen von Ferromangan verwendeten elektrischen Ofens „System Nathusius“

Von der

Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau

genehmigte

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Friedrich Gustav Bittner aus Malaczka, Ungarn

Referent:
Prof. O. Simmersbach.

Korreferenten:
Prof. Dr.-Ing. P. Oberhoffer,
Prof. Dr. B. Neumann.

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Mai 1914.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H.
1914.

56410.

Wärmebilanz

eines zum Einschmelzen von Ferromangan verwendeten elektrischen Ofens „System Nathusius“

Von der

Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau

genehmigte

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Friedrich Gustav Bittner aus Malaczka, Ungarn

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Referent:
Prof. O. Simmersbach.

Korreferenten:
Prof. Dr.-Ing. P. Oberhoffer,
Prof. Dr. B. Neumann.

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Mai 1914.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H.
1914.

Erscheint auch auszugsweise in „Stahl und Eisen“.

Meinem Vater und dem Andenken
meiner Mutter gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549812_0038

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist die Aufstellung der Wärmebilanz eines Elektroschmelzofens System Nathusius nebst Ermittelung der dazu gehörenden Daten.

Beschreibung des Nathusius-Ofens.

Der Elektrostahlofen System Nathusius[1]) ist ein in seinen Konstruktionseinzelheiten einfacher Kessel, dessen Unterteil aus eingestampfter Dolomitmasse und dessen Deckel aus Schiefer oder hoch tonerdehaltigen Steinen hergestellt ist. Die Beheizung erfolgt durch sechs Elektroden, von denen die drei quadratischen Oberflächen-Kohlenelektroden in vertikaler Richtung durch den Deckel bewegt werden können, während die drei gußstählernen Bodenelektroden von eigenartiger Formgestaltung fest eingemauert sind. Jeder Oberflächenelektrode steht eine Bodenelektrode entgegengesetzten Potentials genau achsial gegenüber. Unter sich sind die Elektroden nach den Endpunkten eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet. Um einen Verschleiß der unteren Stahlpole zu verhindern, ist über und zwischen den Bodenelektroden Dolomit, ein Leiter zweiter Klasse, aufgestampft. Für die Stromzuleitung nach den Elektroden sind blank verlegte Bündel paralleler Kupferschienen angeordnet, an denen an der Austrittsstelle flexible Kupferlamellen angeflanscht werden. Die letzteren gewähren einen sehr guten Kontakt und sind elastisch genug, um jeder durch das Kippen des Ofens eintretenden Elektrodenbewegung folgen zu können. An drei Seiten des Ofens sind große bequeme Feuerklappen angebracht, von denen aus das Bad bedient werden kann. Für jede Oberflächenelektrode ist ein besonderer Kühlkasten vorgesehen, dem während des Betriebes ständig frisches Wasser zugeführt wird. Das Kippen des Ofens nach fertiggestellter Charge erfolgt hydraulisch.

Nach seinem Arbeitsprinzip läßt sich dieser Elektrostahlofen am besten als Kombination eines Lichtbogen- und Widerstandsofens kennzeichnen, denn die Wärmewirkung der oberen Elektroden erfolgt hauptsächlich durch Lichtbogenbeheizung, während die durch die unteren Elektroden eingeführte elektrische Energie ausschließlich im Bade und in dem Ofenboden selbst in Wärme umgesetzt wird.

Der Arbeitsvorgang zerfällt in zwei Teile:

a) die Raffinationsperiode, in welcher die Entfernung des Phosphors, Mangans und Kohlenstoffs und eines Teils des Schwefels vor sich geht;
b) die Desoxydationsperiode, in welcher die Oxyde zerstört, die eingeschlossenen Gase zum Entweichen gebracht werden und die Entschwefelung vollendet wird.

Bei der Raffinationsperiode handelt es sich vor allem darum, zwischen der Schlacke und dem Metallbade eine möglichst innige Berührung und Durchsetzung herbeizuführen. Dies geschieht um so besser, je heißer und dünnflüssiger und infolgedessen reaktionsfähiger die unter den Oberflächenelektroden befindliche Schlackenzone gehalten wird.

Bei der Desoxydationsperiode sollen nur noch im eigentlichen Metallbade Reaktionen vor sich gehen und die Schlacke dient nur noch als schützende Decke. In dieser Periode kommt es deshalb auf möglichst gleichmäßiges Durchheizen des Bades an.

Zur leichteren Verarbeitung wird beim 5-t-Ofen gegen Ende der Charge die Lichtbogenbeheizung abgestellt und durch die Bodenelektroden nur noch so viel Wärme eingeführt, als dem Ofen durch Ausstrahlung verloren geht. Dadurch wird neben einer sehr wirtschaftlichen Arbeitsweise ein vollständiges Ausgaren und Beruhigen des Bades bewirkt, was eine natürliche Qualitätssteigerung zur Folge hat.

Es ist erwünscht, zu Beginn der Charge eine möglichst große Oberflächenbeheizung, gegen Mitte der Charge eine gleichmäßige Oberflächen- und Bodenbeheizung und zuletzt auf etwa 20 bis 30 Minuten eine reine Bodenbeheizung zu erzielen.

Der zum Betriebe nötige Strom kann entweder direkt aus dem Netze oder aus einem Oeltransformator entnommen werden. Es sind drei Hauptschaltungsarten möglich:

1. nur mit Haupttransformator geschaltet;
2. mit Haupt- und Zusatztransformator geschaltet;
3. mit Haupttransformator und Potentialtransformator geschaltet.

Die elektrische Ausrüstung der auf der Friedenshütte in Betrieb stehenden 3- und 5-t-Oefen besteht

[1]) Vgl. Neumann: St. u. E. 1910, S. 1410. Kunze: St. u. E. 1912, S. 1089, 1136, 1181, s. a. 2129 u. 2134. Nathusius: St u. E. 1912, S. 1278. Rodenhauser und Schoenawa: Elektrische Öfen in der Eisenindustrie, 1911.

im wesentlichen aus einem Haupttransformator und einem Zusatztransformator. Die sekundärseitigen Phasen des Haupttransformators sind offen geschaltet und mit ihren Enden an die Bodenelektroden, mit ihren Anfängen an die Lichtbogenelektroden gelegt. Der Zusatztransformator arbeitet mit verketteten Phasen und ist primär und sekundär im Stern geschaltet. Er wird primärseitig von derselben Leitung gespeist wie der Haupttransformator und ist sekundär nur an die Bodenelektroden angeschlossen. Es ist also möglich, durch Anschalten des Zusatztransformators die Bodenbeheizung zu verstärken. Zur Regulierung der Intensität der Bodenbeheizung innerhalb gewisser Grenzen besitzt der Zusatztransformator Anzapfstellen, durch die man, je nachdem ob eine höhere oder niedrigere Sekundärspannung eingestellt wird, mehr oder weniger elektrische Energie in den Ofen schicken kann. Die aufgestellten Betriebsbedingungen können mit dieser Einrichtung vollständig erfüllt werden. Der Betrieb stellt sich folgendermaßen:

Zu Beginn des Stahlprozesses werden Oberflächen- und Bodenelektroden sofort unter volle Spannung gesetzt. Die über den Bodenelektroden befindliche Stampfmasse setzt aber dem Stromdurchgang in kaltem Zustande erheblichen Widerstand entgegen. Infolgedessen schließt sich zunächst der Stromkreis vorwiegend über die Oberflächenelektroden und erst allmählich mit fortschreitender Arbeitsperiode können die Bodenelektroden eine nennenswerte Energiemenge in Wärme umsetzen. Beim weiteren Verlauf der Charge kommt die Bodenmasse auf hohe Temperatur. Ihre Leitfähigkeit nimmt dabei bedeutend zu und damit bei konstant zunehmender Spannung die durch die Bodenelektroden dem Bade zugeführte Energie. Gegen Schluß der Charge stellt sich also die erwünschte Bodenbeheizung, durch den Gang des Ofens bedingt, von selbst ein. Die Regulierung der Energiezufuhr kann durch Vergrößerung des Abstandes der oberen Elektroden von der Badoberfläche vorgenommen werden, dies geschieht in der Friedenshütte durch Handregulierung.

Der Nathusiusofen eignet sich, wie jeder Elektrostahlofen, zum Einschmelzen von Roherzen, wie auch zur Veredelung des im Martinofen gewonnenen flüssigen Eisens.

Wenn man den Ofen zum Raffinieren verwenden will, so muß durch Zuschläge geeignete Schlacke gebildet werden. Diese Schlacke soll aber nicht nur die für die Raffination notwendigen chemischen Vorgänge bewirken, sondern auch dazu dienen, eine Aufnahme von Kohlenstoff aus den Elektroden und ein Verbrennen des Produktes unter dem Lichtbogen zu verhindern. Da sich die Schlacke normalerweise an der Oberfläche des Schmelzbades hält und eine geringere Leitfähigkeit besitzt als das Schmelzgut, so läßt sich hierdurch eine gleichmäßigere Verteilung der Oberflächenbeheizung und damit eine Verbesserung der Stahlqualität sowie bis zu einem gewissen Grade eine Dämpfung der Stromstöße erreichen. Der 5-t-Ofen dient gegenwärtig zur Herstellung legierter Bleche (Dynamo- und Transformatorenblech), deren Analyse genau vorgeschrieben ist und die zur Erreichung besonders niedriger elektrischer Verluste außerordentlich kohlenstoffarm sein müssen. Die Einsätze bestehen aus flüssigem dem Thomaswerk entnommenem Material, dessen Zusammensetzung annähernd bekannt ist. Es ist daher möglich, von vornherein über die Art und Menge der Zuschläge bestimmte Angaben zu machen, die dann später nach der Vornahme der Schmiedeproben berichtigt werden können. Zur Veranschaulichung der Arbeitsweise ist der Verlauf zweier Chargen wiedergegeben.

Um 12^{10} Uhr werden 5700 kg flüssiges Thomaseisen eingefüllt. (Da beim späteren Ausgießen des Ofens 300 kg Stahl als Bär im Ofen verblieben sind, so sind als wirklicher Einsatz nur 5400 kg in Rechnung zu bringen.) An Zuschlägen werden beigefügt: 90 kg Eisenerz, 45 kg Kalk, wozu später nochmals 60 kg Eisenerz und 40 kg Kalk hinzutreten. Um 1^{30} Uhr wird zum erstenmal abgeschlackt, wobei dann neue Zusätze von 40 kg Kalk, 15 kg Flußspat, 15 kg Sand, 15 kg Petrolkoks, 15 kg Ferromangan und 15 kg Ferrosilizium gemacht werden. Um 3 Uhr wird das zweite Mal abgeschlackt und um 4^{50} Uhr erfolgt der Abstich der Charge, nachdem vorher Schmiedeproben entnommen worden sind. Das ausgebrachte Gut hatte ein Gewicht von 5240 kg. Der Gesamtverbrauch elektrischer Energie für den Raffinationsprozeß betrug 1800 KWst, das sind 344 KW pro Tonne.

Bei einer neuen Charge mit festem Einsatz war die Behandlung wie folgt:

3^{30} Uhr: Es wurden 5500 kg Rohmaterial unbekannter Zusammensetzung eingebracht, wobei sich nach Abzug der Beimengungen der wirkliche Einsatz auf 5450 kg stellt. Die Zusätze waren: 100 kg Eisenerz, 100 kg Kalk und 23 kg Ferromangan. 6 Uhr: Aufschürfen des Bades; 7^{30} Uhr: Abschlacken; 8^{20} Uhr: Abstich.

Das ausgebrachte Schmelzgut hatte ein Gewicht von 5360 kg plus 100 kg für Knochen und Trichter. Der Gesamtverbrauch an elektrischer Energie für den Schmelz- und Raffinationsprozeß betrug 5300 KWst, also etwa 970 KWst pro Tonne. Nachstehend sind noch die Analysen einiger Produkte des Ofens angeführt:

Phosphor %	Mangan %	Silizium %	Schwefel %	Kohlenstoff %
0,0029	0,07	—	—	0,058
0,0026	0,08	—	—	0,056
0,0029	0,08	0,003	—	0,058
0,003	0,09	0,004	—	0,056
0,003	0,275	0,004	0,02	0,07

Für die Bedienung des Ofens werden benötigt: ein Oberschmelzer, ein zweiter Schmelzer und zwei Arbeiter.

Wirkungsweise des Ofens beim Einschmelzen von Ferromangan.

Mit der Einführung der Flußeisenfabrikation im großen durch Bessemer, Sidney Gilchrist Thomas

und Siemens-Martin machte sich bald das Bedürfnis nach einem geeigneten Desoxydationsmittel für das erzeugte Flußeisen und Stahl geltend. Man benutzte in erster Linie hochkohlenstoffhaltige Eisenmanganlegierungen wie Spiegeleisen, Ferromangan und später festen Kohlenstoff. In jüngster Zeit wurden auch Metalle bzw. Metallegierungen, wie Aluminium, Silizium, Ferrosilizium, Ferrotitan usw. zur Desoxydation und Rückkohlung des Flußeisens und Flußstahls verwendet. Im Laufe der Zeit hat sich jedoch herausgestellt, daß die ältesten Desoxydationsmittel Spiegeleisen und Ferromangan, d. h. die kohlenstoffhaltigen Eisenlegierungen, die wirtschaftlichsten sind. Durch die außergewöhnliche Entwicklung in der Flußeisenfabrikation, speziell durch die Einführung des Thomasprozesses, das Bestreben wachgerufen, die Desoxydationsmittel in möglichst kurzer Zeit intensiv einwirken zu lassen. Man kam den Reaktionen dadurch zu Hilfe, daß man Spiegeleisen und Ferromangan in hoch vorgewärmtem Zustande zusetzte. Bei Spiegeleisen jedoch ging man so weit, es im Schachtofen bzw. Flammofen umzuschmelzen und flüssig dem zu desoxydierenden und rückzukohlenden Material zuzuführen. Man hat auch versucht, Ferromangan in geschmolzenem Zustande zu verwenden. Die Desoxydationswirkung war eine außergewöhnlich günstige bei Verwendung von flüssigem Material, jedoch zeigten sich große Schwierigkeiten, diese schwer schmelzbare Legierung ohne wesentliche Verluste an Mangan zu schmelzen. Wenn es sich um kleine Quanten handelte, benutzte man einen geschlossenen Graphittiegel und erzielte leidliche Erfolge. Da jedoch das Schmelzen im Tiegel sehr teuer ist, so versuchte man, Ferromangan im Schachtofen zu schmelzen, doch war der Manganabbrand, wie bereits erwähnt, derartig groß, daß man auch von diesem Verfahren aus wirtschaftlichen Gründen absehen mußte.

Der Elektrostahlofen eignet sich dagegen vorzüglich zum Schmelzen von Ferromangan, und zwar weil die in ihm herrschende Atmosphäre neutral ist und weil es trotz der verhältnismäßig noch hohen Stromkosten möglich ist, Ferromangan in wirtschaftlicher Weise umzuschmelzen und sogar, was für die Desoxydation von großem Wert ist, das Ferromangan ohne wesentlichen Abbrand an Mangan zu überhitzen[1]).

Der zum Einschmelzen von Ferromangan im Betrieb stehende 3-t-Ofen System Nathusius ist, was Ausrüstung und Zustellung anlangt, dem vorher beschriebenen 5-t-Ofen gleich. Der Leistungsfaktor des Ofens kann bei folgenden drei Schaltungen untersucht werden:

1. bei zwei separaten, vollständig selbständigen Stromquellen für Lichtbogen- und Bodenbeheizung;
2. bei voneinander abhängenden Stromkreisen für Lichtbogen- und Bodenbeheizung;
3. bei voneinander abhängenden Stromkreisen für Lichtbogen- und Bodenbeheizung, wenn die letztere durch einen Zusatztransformator verstärkt wird.

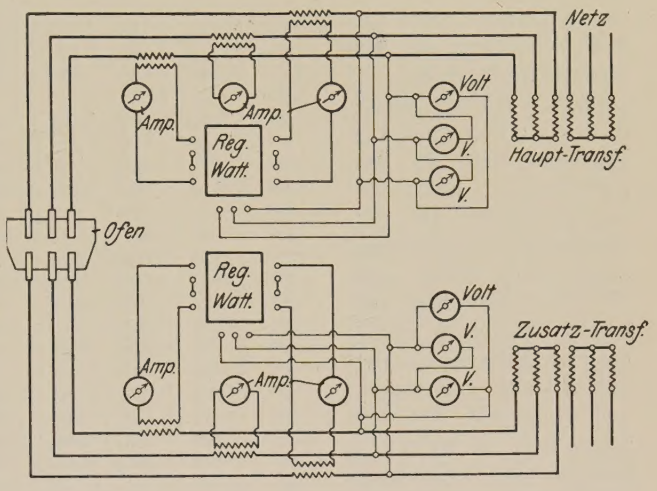

Abbildung 1. Schaltung zu Punkt 2.

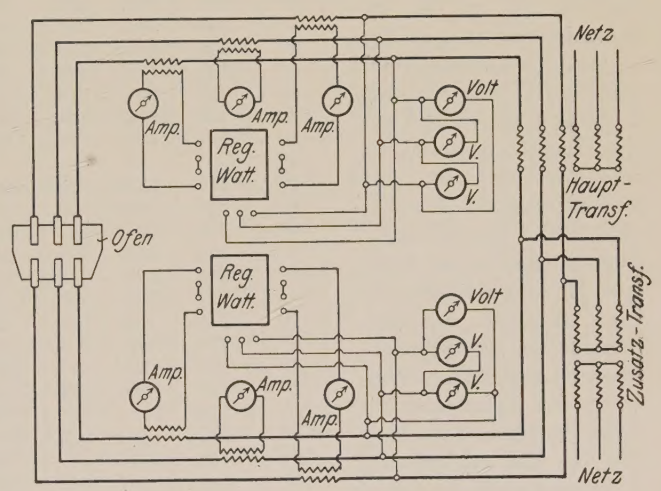

Abbildung 2. Schaltung zu Punkt 3.

Meine Versuche zur Bestimmung des Leistungsfaktors erstreckten sich auf die zwei letzteren Punkte, wobei das eine Mal der Zusatztransformator als Verstärkung der Bodenbeheizung eingeschaltet wurde, das andere Mal der Ofen nur mit einem einzigen Transformator arbeitete. Die Transformatoren waren primär- und sekundärseitig im Stern geschaltet. Die Skizzen Abb. 1 und 2 zeigen die Schaltanordnungen.

Zur Messung der Leistungen wurden zwei registrierende Wattmeter angeschlossen, von denen das eine die Leistung des Lichtbogenstromkreises, das

[1]) Ueber das Umschmelzen von Ferromangan im elektrischen Ofen vgl. F. Schroeder: St. u. E. 1911, S. 1457, sowie Korten: St. u. E. 1912, S. 425.

andere die des Bodenstromkreises anzeigte. Zur Messung der Phasenspannungen sowie auch der Stromstärke schaltete man in jede Phase je ein Instrument ein. Die vorhandenen Instrumente wurden auf Kommando alle drei Minuten gleichzeitig abgelesen. Aus den abgelesenen Werten ließen sich die K V A berechnen. Die dazugehörigen Werte der KW ließen sich aus den registrierten Kurven entnehmen. Hieraus wurde dann cos φ berechnet. Die Ergebnisse sind in den Zahlentafeln 1 und 2 zusammengestellt. Die für Stromstärke und Spannung angegebenen Werte sind Mittelwerte pro Phase. Die Kurve des cos φ wurde aus den Mittelwerten der Zahlentafeln aufgetragen und ist aus Abb. 3 (S. 10) zu ersehen. Sie ist in Abhängigkeit von der Leistung aufgetragen, und man ersieht aus ihrer Betrachtung, daß der cos φ mit zunehmender Leistung wächst.

Aus den Zahlentafeln 1 und 2 ergibt sich ein mittlerer cos φ nach Fall 2, für den Lichtbogenstromkreis zu 0,786 und für den Bodenstromkreis zu 0,804; nach Fall 3 für den Lichtbogenstromkreis zu 0,766 und für den Bodenstromkreis zu 0,740. Aus den registrierten Leistungskurven kann man auch die Wirkung des Zusatztransformators ersehen. Wenn man die von den registrierten Leistungskurven umschlossene Fläche planimetriert und den ermittelten Wert durch die Basis dividiert, so erhält man die mittlere Leistung, die sich bei dem an der Friedenshütte in Betrieb stehenden Ferromanganofen wie folgt gestaltet:

Steht der Ofen ohne Zusatztransformator in Betrieb, so geschieht die Beheizung des Bades beinahe ausschließlich durch den Lichtbogen und nur 4 % der eingeführten Energie bewirken die Bodenbeheizung. Bei dieser Schaltung ist für den Lichtbogenstromkreis die mittlere Leistung etwa 190 KW, für den Bodenstromkreis hingegen nur 8,0 KW. Ganz anders gestaltet sich das Bild im Fall 3 (Verstärkung des Bodenelektrodenstromkreises durch einen Zusatztransformator). Die mittlere Leistung für den Lichtbogenelektrodenstromkreis beträgt hier 171 KW und für den Bodenelektrodenstromkreis

Zahlentafel 1. Bestimmung des Leistungsfaktors ohne Zusatztransformator.
Zu Punkt 2.

Zeit	Lichtbogenstromkreis					Bodenstromkreis				
	V	Amp.	KVA	KW	Cos φ	V.	Amp.	KVA	KW	Cos φ
1^{12}	116	1350	270,3	127,5	0,472	2,6	566	1,57	1,5	0,956
1^{15}	119	833	172,1	135,0	0,785	1,9	843	2,78	2,4	0,865
1^{18}	117	867	175,9	153,0	0,874	3,4	1280	7,55	6,0	0,796
1^{21}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1^{24}	115	1266	252,0	170,0	0,675	3,6	1266	7,89	7,5	0,950
1^{27}	120	1133	235,4	183,5	0,777	4,5	1990	15,5	10,5	0,678
1^{30}	118	983	200,8	180,0	0,896	3,0	1283	6,66	4,5	0,675
1^{35}	116	1367	274,4	219,0	0,796	3,8	1450	9,54	9,0	0,942
1^{36}	117	1500	298,1	270,0	0,906	4,4	1680	13,1	12,0	0,915
1^{45}	121	1317	275,0	270,0	0,982	4,7	1350	11,54	9,0	0,785
1^{48}	119	1010	208,1	144,0	0,692	4,2	1133	8,25	7,3	0,885
1^{57}	117	1433	291,0	235,5	0,810	5,2	1520	13,7	11,1	0,812
2^{00}	118	1333	271,5	174,0	0,642	4,1	1350	9,62	7,5	0,779
2^{04}	118	1550	317,4	291,0	0,916	4,5	1300	10,1	9,0	0,890
2^{39}	115	1466	291,9	213,0	0,730	4,3	1366	10,2	6,0	0,590
2^{42}	115	1016	203,0	164,5	0,810	3,2	1333	7,4	6,0	0,811
2^{45}	116	1917	185,1	141,0	0,762	3,8	1280	8,43	6,0	0,712
2^{48}	117	1417	287,0	252,0	0,877	3,9	1300	8,93	6,6	0,739
2^{51}	115	1333	266,1	198,0	0,744	4,0	1300	9,0	8,1	0,835
2^{54}	115	1200	212,7	168,0	0,790	3,7	1250	8,06	6,0	0,745
2^{57}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3^{00}	116	983	196,9	126,0	0,640	4,2	1430	10,3	8,4	0,814
3^{03}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3^{06}	117	1033	209,1	144,0	0,690	4,2	1616	11,7	9,6	0,821
3^{09}	116	1040	280,3	255,0	0,670	4,0	1400	9,72	7,8	0,802
3^{12}	116	1100	221,4	183,0	0,827	4,0	1220	8,46	6,0	0,708
4^{15}	117	1216	245,7	205,0	0,835	3,2	1370	7,6	6,0	0,790
4^{18}	120	1050	218,1	212,0	0,975	4,7	1300	10,6	9,0	0,850
4^{21}	119	683	141,1	229,0	0,915	2,3	1033	4,04	2,4	0,593
4^{24}	118	1067	196,1	183,0	0,934	4,7	1333	11,0	8,4	0,764
4^{27}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4^{30}	117	1530	322,3	297,0	0,920	5,0	1420	12,2	11,4	0,935
4^{35}	116	1000	200,2	192,0	0,958	2,0	1120	3,88	2,4	0,618
4^{36}	114	1233	243,4	225,0	0,925	4,1	1166	9,61	9,0	0,930
4^{39}	116	1400	281,0	231,0	0,820	4,9	1500	12,75	12,0	0,941
4^{42}	115	1317	262,1	235,0	0,898	4,8	1350	4,44	3,0	0,676
4^{45}	117	1183	238,9	176,0	0,737	3,3	1266	11,2	9,0	0,802
4^{48}	115	883	176,3	132,0	0,749	2,6	906	3,73	3,0	0,805
4^{51}	117	1017	205,9	162,0	0,786	3,0	1300	6,76	6,0	0,808
4^{54}	118	1100	225,3	162,0	0,720	3,2	1193	6,56	6,0	0,915
7^{57}	116	1350	270,3	243,0	0,900	4,3	1300	9,68	9,0	0,931
8^{00}	119	1167	240,3	210,0	0,874	2,3	1166	4,74	3,0	0,632
8^{03}	116	1300	261,0	219,0	0,838	4,1	1293	9,1	7,5	0,825
8^{06}	117	1466	296,2	180,0	0,607	4,5	1333	8,04	6,0	0,776
8^{09}	117	1367	276,8	180,0	0,650	4,7	1200	9,78	9,0	0,920
8^{24}	121	1083	226,2	153,0	0,677	4,5	1250	9,75	7,5	0,769
8^{27}	114	1250	245,9	169,5	0,690	4,4	1300	9,97	9,0	0,902
9^{30}	120	900	186,4	140,5	0,754	3,2	943	5,19	3,0	0,578
9^{33}	118	1550	316,5	177,0	0,560	6,0	1490	15,5	15,0	0,967
9^{36}	119	1750	360,5	267,0	0,766	5,1	1350	11,9	11,4	0,959
9^{39}	123	900	192,0	144,0	0,750	4,0	1300	9,0	7,5	0,833
9^{42}	120	1017	211,7	168,0	0,795	4,5	1300	10,15	7,5	0,470
9^{45}	121	883	184,5	124,5	0,676	2,7	1050	5,0	3,9	0,780
9^{45}	119	1150	239,2	201,0	0,841	5,0	1250	10,85	9,0	0,830
9^{51}	121	1267	265,3	192,0	0,725	4,0	1166	8,07	6,0	0,743
9^{53}	119	1140	234,0	184,5	0,790	4,0	1250	8,66	6,6	0,763

48 KW, das sind 22 % der gesamten eingeführten Energie. In der Bodenbeheizung liegt der Hauptvorteil des Nathusiusofens und es empfiehlt sich daher, den Bodenelektrodenstromkreis zu verstärken.

Aufstellung der Wärmebilanz.

Für die Feststellung der Wärmebilanz war die Kenntnis des Wärmeinhaltes des Ferromangans erforderlich. Da keine Angaben hierüber vorlagen, mußten besondere Versuche angestellt werden. Das zu meinen Versuchen benutzte Schmelzgut ist ein 80 %iges Ferromangan von nachstehender chemischer Zusammensetzung:

Mn	80,60 %
P	0,23 „
Fe	11,93 „
C	6,41 „
S	0,026 „
Si	0,70 „

Es wurde zunächst die Lage des Schmelzpunktes dieser Legierung durch Aufnahme einer Reihe von Abkühlungskurven bestimmt. Abb. 11 (S. 15) ergibt sich als Mittelwert aus 20 Versuchen. Hiernach vollzieht sich, wie vorauszusehen war[1]), die Erstarrung in einem Temperatur-Intervall, und zwar beginnt sie bei 1258 ° und ist beendet bei 1060°. Daß es sich tatsächlich um ein Erstarrungs-Intervall handelt, konnte bei den zahlreichen Schmelz-Versuchen stets durch Umrühren mit dem Thermoelement-Schutzrohr festgestellt werden.

Die von Wüst (loc. cit.) wiedergegebene Abkühlungskurve eines Ferromangans ähnlicher Zusammensetzung zeigt den oberen Knick bei 1258 °, weist jedoch den unteren nicht auf. Die mikroskopische Untersuchung ergibt nicht, wie zu erwarten stand, homogene Mischkristalle, sondern zwei Gefügebestandteile, eine Erscheinung, auf die bereits Wüst (loc. cit.) hinweist und die Goerens auf unvollständigen Ausgleich der Konzentrationen der miteinander in Berührung befindlichen Phasen durch Diffusion zurückführt.

Zahlentafel 2. Bestimmung des Leistungsfaktors mit Zusatztransformator.

Zu Punkt 3.

Zeit	Lichtbogenstromkreis					Bodenstromkreis				
	V.	Amp.	KVA	KW	Cos φ	V.	Amp.	KVA	KW	Cos φ
2^{54}	110	1483	282,4	141,0	0,500	9,4	4100	66,7	48,0	0,720
2^{57}	105	1066	202,3	144,0	0,712	8,9	4050	62,4	55,5	0,890
3^{00}	109	967	182,9	150,0	0,820	9,3	4183	68,1	51,0	0,750
3^{03}	109	1075	203,0	159,0	0,750	9,4	4060	66,1	48,0	0,727
3^{06}	106	950	171,8	152,0	0,885	8,6	3950	58,8	47,3	0,805
3^{09}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3^{12}	103	1383	247,3	191,0	0,773	9,1	4066	64,1	46,5	0,726
3^{15}	107	1000	194,6	150,0	0,771	9,1	3950	62,2	48,8	0,785
3^{18}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3^{21}	104	983	177,5	93,2	0,525	8,7	3933	59,2	44,4	0,750
3^{24}	106	1050	193,2	147,0	0,761	8,8	4083	62,2	48,0	0,772
3^{27}	109	1360	258,0	243,0	0,941	9,1	4020	66,2	51,0	0,772
3^{30}	108	1233	231,2	218,0	0,944	9,0	4250	66,2	52,5	0,792
3^{33}	105	833	150,9	141,0	0,935	8,6	4000	59,5	45,0	0,756
3^{36}	108	1117	209,3	171,0	0,817	9,2	4200	66,9	49,5	0,740
3^{39}	107	850	156,9	130,5	0,832	8,9	4176	64,3	46,5	0,723
3^{42}	107	1260	234,0	192,0	0,820	9,1	4116	64,8	50,3	0,777
3^{45}	107	1283	236,9	177,0	0,747	8,9	4073	62,7	45,0	0,717
3^{48}	107	1050	193,8	111,0	0,573	8,9	4050	62,4	46,5	0,746
3^{51}	107	1217	224,6	183,0	0,815	9,0	3966	61,8	45,0	0,728
3^{54}	102	1500	263,0	143,0	0,542	8,6	3933	58,5	44,3	0,757
3^{57}	103	1317	233,9	175,0	0,748	8,9	4020	61,9	48,0	0,775
4^{00}	107	1033	190,8	136,5	0,716	8,9	4000	61,6	46,2	0,750
4^{03}	110	1250	238,0	192,0	0,806	9,2	4133	65,8	51,0	0,775
4^{06}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4^{09}	102	1217	214,1	172,5	0,806	8,7	3933	59,2	45,0	0,760
4^{12}	103	1167	208,0	171,0	0,822	8,8	4000	60,9	46,5	0,763
4^{15}	106	1183	217,7	165,0	0,760	8,7	3900	58,7	42,0	0,715
4^{39}	105	1000	181,7	136,5	0,751	8,8	3933	59,9	48,0	0,801
4^{42}	102	1067	187,7	138,0	0,736	8,4	3933	57,2	39,0	0,682
4^{45}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4^{48}	99	1417	242,8	177,0	0,730	8,3	3833	55,1	37,5	0,680
4^{51}	99	1300	222,8	180,0	0,807	8,1	3833	53,7	40,5	0,764
4^{54}	104	1360	244,0	201,0	0,825	8,4	3900	56,7	42,0	0,740
4^{57}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5^{00}	107	1100	203,1	141,0	0,695	9,0	4066	63,3	45,0	0,710
5^{03}	101	1483	259,3	156,0	0,602	8,3	3716	53,4	39,0	0,731
5^{06}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5^{09}	107	1465	271,0	260,0	0,960	8,7	3966	59,7	45,0	0,753
5^{12}	102	1083	191,8	147,0	0,766	8,9	4000	61,6	42,0	0,681
5^{15}	104	1167	210,0	123,0	0,586	8,7	3953	59,5	42,0	0,705
5^{18}	103	1050	187,2	144,0	0,770	8,6	4033	60,0	42,0	0,700
5^{21}	107	1200	221,6	174,0	0,706	8,8	4016	61,2	45,0	0,735
5^{24}	102	1333	236,1	195,0	0,826	8,6	4083	60,8	42,0	0,692
5^{27}	104	1273	229,5	186,0	0,812	8,8	4133	62,9	44,3	0,704
5^{30}	100	983	170,5	133,5	0,783	8,1	3816	53,8	36,0	0,668
5^{33}	106	867	159,2	108,0	0,678	8,8	3866	59,0	43,5	0,737
5^{36}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5^{39}	108	1133	212,5	171,0	0,804	8,9	4033	62,3	46,5	0,746
5^{42}	106	1200	221,0	183,5	0,830	8,8	3983	60,7	45,0	0,741
5^{45}	103	1283	230,0	169,5	0,737	8,5	3950	58,2	43,5	0,746
5^{48}	102	1233	216,0	174,0	0,806	8,4	3890	55,5	37,5	0,676
5^{51}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5^{54}	104	1120	202,0	178,0	0,880	8,6	4083	61,0	45,0	0,737
5^{57}	101	1283	222,7	168,0	0,754	8,4	3916	57,0	37,5	0,658
6^{00}	102	883	156,0	126,0	0,807	8,4	3760	54,8	42,0	0,767

[1]) Vgl. F. Wüst: Beitrag zum Einfluß des Mangans auf das System Eisen-Kohlenstoff, Met. 1909, S. 2, sowie P. Goerens: Ueber den Einfluß von Fremdkörpern auf das Zustandsdiagramm der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, Met. 1909, S. 537.

Der Wärmeinhalt des Ferromangans wurde mit dem von Oberhoffer[1]) beschriebenen modifizierten Bunsenschen Eiskalorimeter bestimmt. Die Anordnung des Kalorimeters geht aus Abb. 4 hervor.

Die Hauptbestandteile des Kalorimeters sind das Kalorimeter (K) selbst, welches mit luftfreiem Wasser und mit reinstem Quecksilber gefüllt ist. Das Quecksilber ist durch eine Kapillare mit einem außen angebrachten als Dewarsches Gefäß augebildeten Näpfchen in Verbindung gebracht. Die Kapillare besitzt am Ende eine Saugspitze. Das Kalorimeter sitzt in einer Glasglocke (G), welche mit destilliertem Wasser gefüllt ist und an

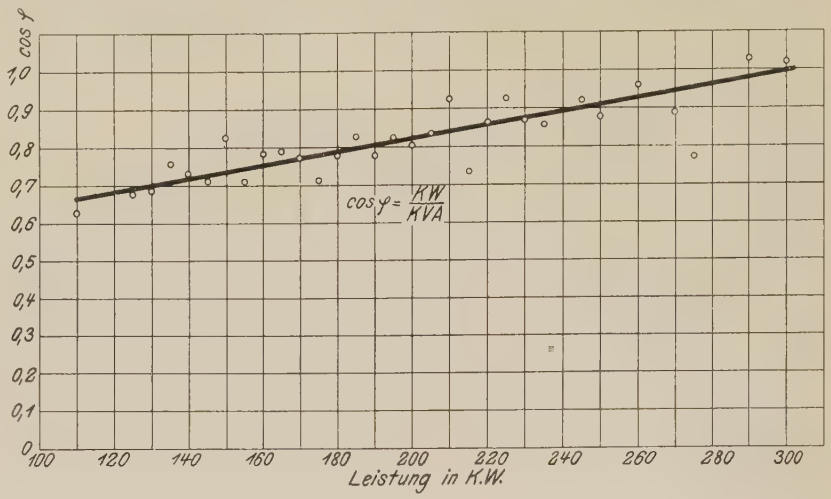

Abbildung 3. Die cos φ-Kurve.

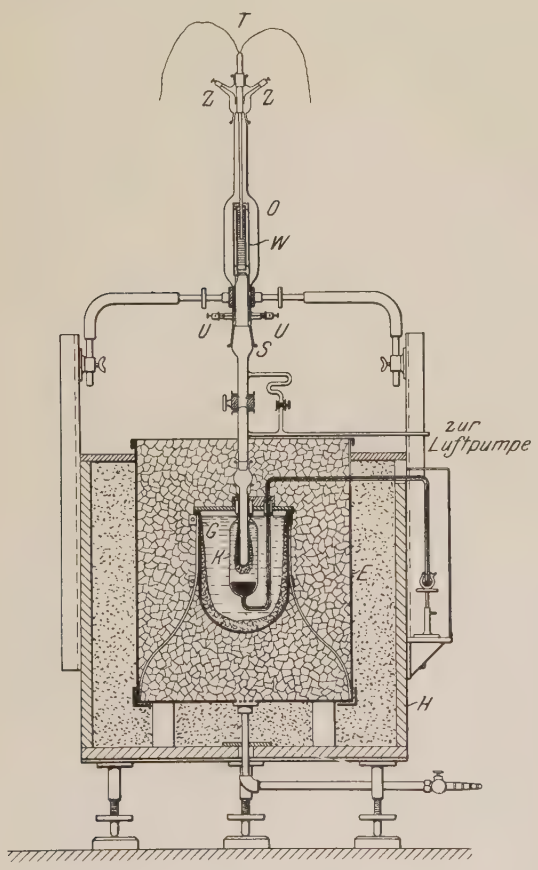

Abbildung 4. Bunsensches Eiskalorimeter nach Oberhoffer.

deren Wandungen ein Eismantel gebildet wird. Diese Glasglocke ruht auf einem Dreifuß und ist in einem mit reinem Eis gefüllten Zinkbehälter (E) untergebracht. Dieser befindet sich wieder in einem größeren Behälter (H), der zur Verhinderung der Wärmeausstrahlung mit geglühter Kieselgur gefüllt ist. Der Heizkörper (W) ist vom Kalorimeter durch einen Hahn getrennt, der in geeignetem Moment geöffnet wird. Der Hahn ist innen versilbert und soll die Wärmeausstrahlung des Ofens in das Kalorimeter verhindern. Der Heizkörper besteht aus einer Kohlespirale. Bei den Versuchen von Oberhoffer wurde die Kohlenspirale blank in das äußere Kohlenschutzrohr eingesetzt. Es zeigte sich als Nachteil dieser Anordnung, daß leicht ein Lichtbogen zwischen der Kohlenspirale und dem äußeren Schutzrohr entsteht und den ganzen Ofen gefährdet. Dann war die Kohlenspirale älteren Systems gegen Stöße sehr empfindlich. Zur Verhinderung der Lichtbogenbildung und Stabilisierung der Kohlenspirale gegen Stöße wurden die Zwischenräume zwischen ihren Windungen mit feinster Schamotte ausgeschmiert und das Ganze getrocknet (vgl. Abb. 5). Die Spirale war dadurch sehr haltbar geworden und man konnte mit Leichtigkeit in 10 Minuten eine Temperatur von 1500° erreichen. Ferner wurde auch festgestellt, daß die Erwärmung des äußeren Schutzrohres bei der neuen Anordnung geringer und der Stromverbrauch um ungefähr 30 % gesunken war. Das Heizrohr ist in einem Glaszylinder (0) untergebracht, der mittels eines großen Schliffes (S) auf das Hahnstück aufgesetzt wird. Die Stromzuleitung geschieht durch

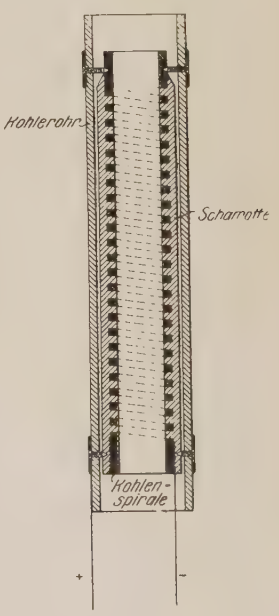

Abbildung 5. Heizkörper.

[1]) St. u. E. 1908, S. 1196; Metallurgie 4, S. 427 (1907).

die beiden Kontakte (U). Zur Bestimmung der Temperaturen ist in geeigneter Weise ein Thermoelement (T) im Kopfstück eingebaut, das bis in die Mitte des Heizkörpers ragt. Das Kopfstück trägt auch noch die Zuleitungsdrähte (Z) für die Auslösevorrichtung. Die von Meuthen[1]) vorgeschlagenen Verbesserungen sind bei der vorliegenden Neukonstruktion berücksichtigt. Der Versuchskörper befindet sich in einem Näpfchen aus sogenannten Qu.-Masse, einer hochfeuerfesten, gasdichten, stark kieselsäurehaltigen Masse. Dieses Näpfchen ist mit Platindraht an den Kohlen der Auslösevorrichtung befestigt. Die Abmessungen des Näpfchens waren folgende: Länge 20 mm, äußerer Durchmesser 7 mm, Wandstärke 1 mm, das Gewicht betrug etwa 1,14 g. Das Ferromangan wurde fein pulverisiert in das Näpfchen eingebracht. Das Gewicht des Ferromangans betrug ebenfalls ungefähr 1,2 g. Der Wärmeinhalt wurde bei folgenden Temperaturen bestimmt: 600 °, 720 °, 800 °, 940 °, 1060 °, 1140 °, 1200 °, 1260 °, 1350 °.

Die spezifische Wärme der Qu-Masse mußte, da nicht bekannt, durch besondere Versuche ermittelt werden.

Der Versuch gestaltete sich wie folgt: Nach Bildung des Eismantels im Kalorimeter wurde letzteres

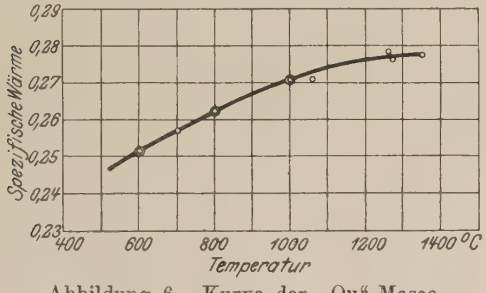

Abbildung 6. Kurve der „Qu“-Masse.

mindestens sechs Stunden lang der Ruhe überlassen. Erst nach dieser Zeit besaß es einen regelmäßigen Gang. Hierauf wurde der Versuchskörper in das Kalorimeter mittels einer mit einer Oelpumpe kombinierten Quecksilber-Hochvakuumpumpe evakuiert, bis die zur Prüfung des Vakuums angeschlossene Geißlerröhre fluoreszierte. Hierauf heizte man den Kohlenofen an. Der Versuchskörper wurde dann eine viertel Stunde auf der gewünschten Temperatur gehalten. Hierauf öffnete man den Hahn und schmolz den Versuchskörper ab. Er fällt dann in die zu seiner Aufnahme bestimmte Kupferkapsel. Zur Bestimmung des Kalorimeterganges setzt man alle viertel Stunden ein gewogenes, mit Quecksilber gefülltes Näpfchen unter die Saugspitze der Kapillare und man bestimmt die Gewichtszu- oder -abnahme, den Gang, durch Wägung der Quecksilbernäpfchen. Der herabgefallene Versuchskörper gibt beim Versuch seine Wärme an den Eismantel ab. Hierdurch schmilzt eine gewisse Menge Eis. Die dadurch bedingte Verminderung des Volumens hat zur Folge, daß aus dem Näpfchen Quecksilber in das Kalorimeter eingesogen wird. Das mit Rücksicht auf den Gang korrigierte Gewicht des eingesogenen Quecksilbers, dividiert durch die einer Kalorie entsprechende Quecksilbermenge, ergibt die von dem Versuchskörper abgegebene Wärmemenge in Kalorien. Nach dem Vorgange von Oberhoffer wurde für die einer „mittleren“ Kalorie entsprechende Quecksilbermenge die von Dieterici ermittelte Zahl 15,491 mg angenommen. Jede Bestimmung wurde zweimal, bzw. wenn es erforderlich erschien, dreimal ausgeführt. Die Versuchsergebnisse weichen im allgemeinen wenig voneinander ab.

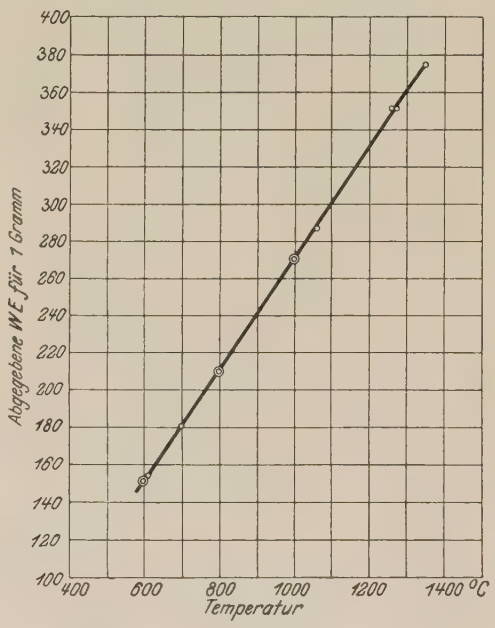

Abbildung 7. Kurve der „Qu“-Masse.

In der Zahlentafel 3 sind die aus der Qu-Masse gewonnenen Ergebnisse zusammengestellt. Spalte 1, 2 und 3 sind die ermittelten Zahlenwerte, Spalte 4 und 5 die hieraus berechneten Werte für die spezifische Wärme bzw. den Wärmeinhalt. Die Werte der Spalte 4 bzw. 5 sind in Abhängigkeit von der Temperatur in den Kurven Abb. 6 bzw. 7 zusammengetragen. Die aus diesen Kurven interpolierten Werte für die spezifische Wärme bzw. den Wärmeinhalt der Qu-Masse enthält Zahlentafel 4.

Zahlentafel 3.

Temperatur ° C	Gew. des Vers. Körp. g	Korrigiertes Hg-Gewicht g	Mittlere spez. Wärme	Abgegebene WE pro 1 g Qu-Masse
600	1,1410	2,6754	0,25187	151,1
600	1,1968	2,8035	0,25182	151,1
610	1,1410	2,6833	0,25230	153,9
700	1,1065	3,0865	0,25750	180,2
800	1,1986	3,8857	0,26245	209,9
800	1,1968	3,8902	0,26240	209,9
1000	1,1418	4,7862	0,27062	270,6
1000	1,1418	4,7930	0,27090	270,9
1060	1,1986	5,3364	0,27100	287,2
1260	1,1365	6,1783	0,27854	350,9
1270	1,1968	6,5027	0,27619	350,7
1350	1,1968	6,9503	0,27755	374,6

[1]) A. Meuthen: Kalorimetrische Untersuchung des Systems Eisen-Kohlenstoff. Diss. Aachen 1912.

Zahlentafel 4.

Temperatur ° C	Mittlere spez. Wärme	Abgegebene WE pro 1 g Qu-Masse
600	0,25187	151,1
700	0,25750	180,2
800	0,26240	209,9
900	0,26695	240,1
1000	0,27080	270,8
1100	0,27400	301,5
1200	0,27615	331,2
1300	0,27720	360,1
1350	0,27750	374,6

Zahlentafel 6.

Temperatur ° C	Mittlere spez. Wärme	Abgegebene Wärme bei 1 g Fe Mn
600	0,1625	97,5
700	0,1667	116,7
800	0,1711	136,8
900	0,1763	158,6
1000	0,1822	182,2
1060	0,1863	197,4
1200	0,2133	255,9
1258	0,2225	280,0
1340	0,2268	304,0

Die Bestimmung des Wärmeinhaltes des Ferromangans ging nicht so glatt vor sich wie die der Qu-Masse, da sich bei Temperaturen über 1200 ° Mangandämpfe entwickelten, die mitunter den zur Aufhängung des Versuchskörpers dienenden Platindraht in kurzer Zeit zerstörten. Der vorzeitig herabfallende Versuchskörper zertrümmerte den geschlossenen Hahn des Kalorimeters.

Zur Vermeidung dieses Uebelstandes wurden die Versuche oberhalb 1200 ° bei geöffnetem Verbin-

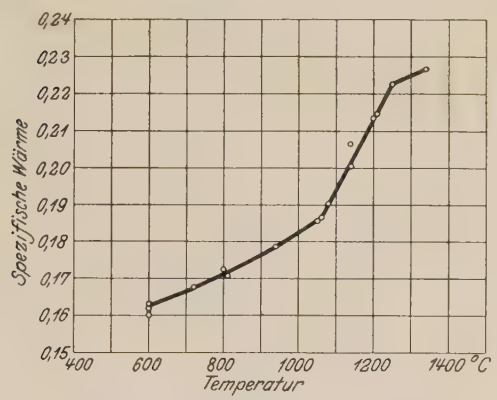

Abbildung 8. Kurve des Ferromangans.

dungshahne ausgeführt. Der durch die Strahlung des Ofens in dem Kalorimeter hervorgerufene Versuchsfehler mußte berücksichtigt und vorerst durch Versuche ermittelt werden. Er betrug in mg Quecksilber ausgedrückt bei 900 ° pro Viertelstunde 32,7 mg, bei 1300 ° 218 mg. Ein zweiter Fehler entsteht bei den höheren Temperaturen durch das Verdampfen des Ferromangans. Diesem Fehler wurde dadurch begegnet, daß man den Versuchskörper vor und nach jedem Versuch abwog und bei der

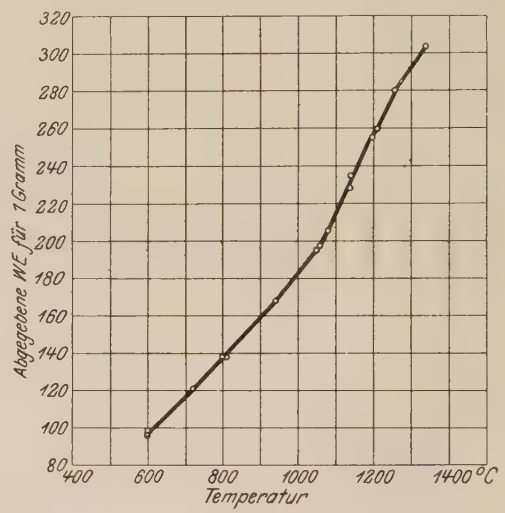

Abbildung 9. Kurve des Ferromangans.

eigentlichen Rechnung nur das tatsächlich in das Kalorimeter eingebrachte Gewicht berücksichtigte. Die Verdampfung im luftleeren Raum ist bei 1340 ° ganz erheblich. Von einem Versuchskörper, der 1,0519 g wog, verdampften in einer viertel Stunde 74,9 mg, das sind 7,1 %. Die auf spezifische Wärme und Wärmeinhalt des Ferromangans bezüglichen Versuchsergebnisse sind in Zahlentafel 5 wiedergegeben. Die Werte sind in Abb. 8 bzw. 9 in Abhängigkeit von der Temperatur graphisch veranschaulicht und die aus den Kurven interpolierten Werte in der Zahlentafel 6 zusammengetragen.

Beide Kurven weisen bei der dem Beginn bzw. dem Ende des Schmelzens entsprechenden Tempe-

Zahlentafel 5.

Zusammenstellung der Versuchsergebnisse betr. die spezifische Wärme des Ferromangans.

Temperatur ° C	Korrigiertes Hg-Gewicht			Gewicht d. Versuchskörpers			Mittlere spez. Wärme	Abgegebene WE pro 1 g Fe Mn
	Ges. g	Fe Mn g	Näpfchen g	Fe Mn g	Näpfchen g	Gesamt g		
600	4,2495	1,5793	2,6702	1,0625	1,1410	2,2035	0,16000	96,0
600	4,4307	1,6300	2,8007	1,0757	1,1968	2,2725	0,16302	97,9
600	4,3708	1,5701	2,8007	1,0425	1,1968	2,2393	0,16209	97,2
720	5,5295	2,0792	3,4503	1,1128	1,1968	2,3096	0,16750	120,7
800	6,3087	2,5972	3,7115	1,1378	1,1410	2,2788	0,17260	138,1
810	5,8710	2,3214	3,5506	1,0850	1,0760	2,1610	0,17054	138,0
940	7,6713	2,9907	4,6806	1,1107	1,1968	2,3075	0,1785	167,8
1050	8,6075	3,3075	5,3000	1,0970	1,1968	2,2938	0,18550	194,8
1060	8,5880	3,4730	5,1150	1,1348	1,1418	2,2766	0,18630	197,4
1080	9,0123	3,5405	5,4718	1,1122	1,1968	2,3090	0,19020	205,5
1140	9,7282	3,9202	5,8080	1,1086	1,1968	2,3054	0,20056	228,3
1140	9,0308	3,8247	5,2061	1,0519	1,0760	2,1279	0,20610	234,8
1200	10,5297	4,3876	6,1421	1,1067	1,1968	2,3035	0,21330	255,9
1210	10,5613	4,3632	6,1981	1,0960	1,1968	2,2928	0,21441	259,7
1340	10,7932	4,6000	6,1932	0,9770	1,0760	2,0530	0,22680	304,0

ratur einen Knick auf. Die zum Schmelzen des Ferromangans verbrauchte Wärme ergibt sich aus den Kurven zu 82,6 WE pro 1 g Ferromangan.

Bei der Aufstellung der Wärmebilanz kann selbstverständlich nur mit Mittelwerten aus zahlreichen Beobachtungen gerechnet werden. Der Ofen arbeitet mit einem Einsatz von durchschnittlich 2700 kg. Dieses Gewicht können wir als ständig im Ofen vorhanden voraussetzen. Aus dem Ofen wird je nach Bedarf flüssiges Ferromangan entnommen, und zwar in Mengen von etwa je 50 bis 60 kg; im allgemeinen geschieht dies alle 15 Minuten durch Kippen des Ofens. Die herausgenommene Menge wird dann sofort durch neues, festes Material ergänzt und die Tür wird rasch geschlossen, so daß keine wesentlichen Wärmestrahlungsverluste auftreten können. Der Verbrauch von flüssigem Ferromangan ist in einer Schicht ungefähr gleich dem Inhalte des Ofens und es wird mit dem durchschnittlichen Wert von 2700 kg pro Schicht in unserer Bilanz gerechnet. Die zugeführte Energie beträgt pro Schicht 2250 KWst, d. i. pro Tonne flüssigem Ferromangan 833 KWst. Das Bad ist auf 1350 ° überhitzt. Der Wärmeinhalt von 1000 kg auf 1350 ° erhitztem Ferromangan beträgt 306 000 kg Kal. = 354 KWst.

Der Uebersichtlichkeit halber wird die Wärmebilanz für 1 Tonne Ferromangan aufgestellt. Da der Zähler vor dem Transformator angebracht ist, müssen wir den Wirkungsgrad des Transformators berücksichtigen; derselbe beträgt 96 %. Weitere Verluste elektrischer Natur sind die elektrischen Leitungs- und Kontaktverluste, vom Transformator an gerechnet bis zu den Elektroden. Dieser Verlust beträgt nach ausgeführten Versuchen 6 bis 8 %. Die Rechnung wird mit dem Mittelwerte 7 % durchgeführt. Es treten ferner Verluste durch die Wasserkühlung der Lichtbogenelektroden auf. Dieser Verlust hängt stark von der gewählten Kühlwassermenge ab; je kleiner diese gehalten wird, um so kleiner wird auch die durch die Elektroden abgeführte Wärmemenge sein. Nach Catani[1]) beträgt sie 15 %, nach Kunze[2]) 7 bis 11 %. Bei meinen Versuchen sind nur die Elektroden des Lichtbogenstromkreises, nicht aber die Bodenelektroden gekühlt.

Der Wasserverbrauch stellt sich pro Tonne Ferromangan auf 1,800 cbm, die Eintrittstemperatur ist 15 °, die Austrittstemperatur ist im Durchschnitt 39 °, die Wärmezunahme des Kühlwassers ist folglich 24 °. Die abgegebene Wärmemenge an das Kühlwasser ist 18,00 . 24 = 43200 WE, das sind 50 KWst. Von dem Gesamtwärmeverbrauch sind dies 6 %.

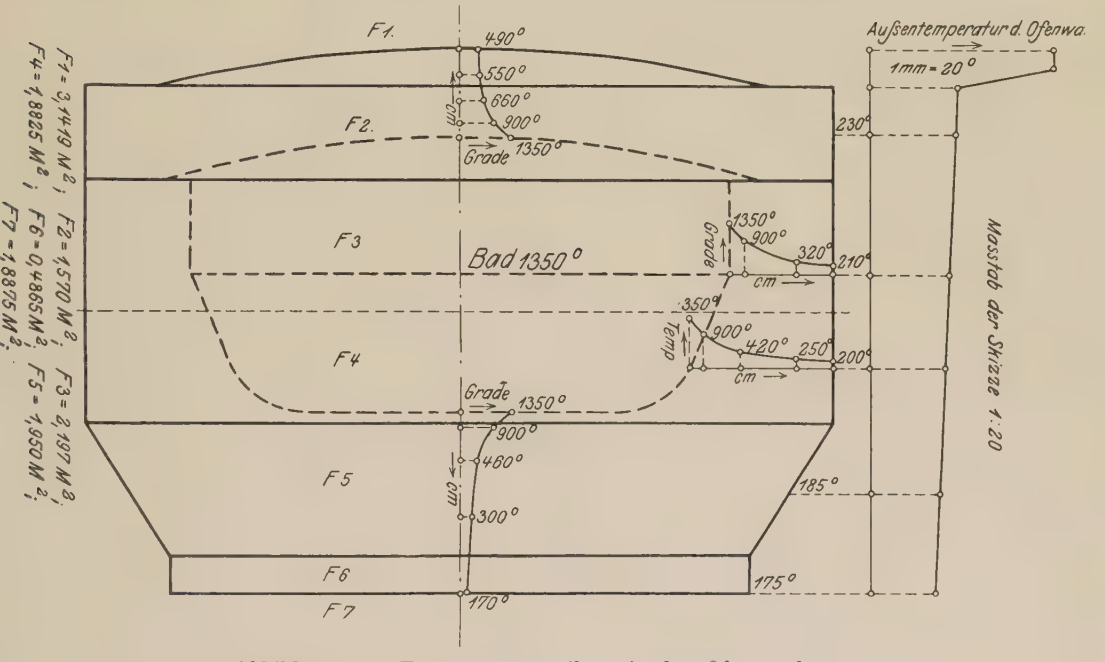

Abbildung 10. Temperaturverteilung in den Ofenwandungen.

Die Verluste durch Leitung und Strahlung sind erheblich größer, als wenn der Ofen als Elektrostahlofen arbeitet, weil der Inhalt des Ofens dauernd auf der hohen Temperatur von 1300 bis 1350 ° gehalten werden muß. Infolgedessen sind die Wandungen des Ofens auch stark durchgewärmt und der Wärmeaustausch mit der Umgebung ist ein bedeutender.

In Abb. 10 kann man den Temperaturverlauf in den Ofenwandungen verfolgen. Die dort eingezeichneten Kurven wurden aufgenommen, indem man die Ofenwandung an verschiedenen Stellen anbohrte und die Temperaturen maß. Man erkennt, daß der Deckel des Ofens in der Hauptsache unter dem Einfluß der strahlenden Wärme zu leiden hat.

Für die Berechnung der Strahlungs- und Leitungsverluste wurde der ganze Ofen in Flächen eingeteilt (vgl. Abb. 10) und innerhalb dieser Flächen

[1]) St. u. E. 1911, S. 2114.
[2]) St. u. E. 1912, S. 1089 u. f.

die Temperatur als konstant angesehen. Die Strahlungs- und Leitungsverluste wurden nach der Formel

$$Q = K \cdot F \cdot z \cdot (t_1 - t_2)$$

berechnet, in der

$$K = k\ 0{,}5\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^2 - 1{,}9\right]$$

k = Durchgangszahl für die Berührung = 4
T_1 = abs. Temp. = 273 + t_1
t_1 = Temp. d. heißeren Körpers
t_2 = „ „ kälteren „
z = Zeit in Stunden.

Zahlentafel 7.

	1	2	3	4	5	6	7
F in qm	3,1419	1,570	2,197	1,8825	1,950	0,4865	1,8875
t_1 „ ° C	450	230	210	200	185	175	170
t_2 „ ° C	20	20	20	20	20	20	20
K	29,18	15,7	14,71	14,23	13,53	13,08	12,85
Q in WE/sec	10,93	1,43	1,71	1,34	1,21	0,274	1,01

Die gemessenen Größen sind in Zahlentafel 7 zusammengestellt. Die durch Leitung und Strahlung abgegebene Wärmemenge Q ist in WE/sek angegeben. Die Gesamtverluste betragen 17,904 WE/sek = 74,3 KW/sek oder in 12 Stunden 892 KWst, umgerechnet auf die Tonne 330 KWst.

Es wurde in Uebereinstimmung mit der Praxis angenommen, daß zum Erhitzen des Kalkes und zur Bildung der Schlacke etwa 1 % der gesamten eingeführten Energie verwendet werden müsse.

Wärmebilanz pro 1000 kg Ferromangan.

Wärmeeingang.	KWst	%	Wärmeausgang.	KWst	%
Als elektrische Energie in den Ofen geschickt	833	100	Energie zum Umschmelzen des Fe Mn	354,0	42,5
			Schmelzen des Kalkes.	7,4	0,9
			Verluste:		
			Transformatorverlust	33,3	4,0
			Elektrische Leitungsverluste . . .	58,3	7,0
			Verlust der Kühlwassermenge der Elektroden	50,0	6,0
			Leitungs- u. Strahlungsverlust, in dem die Warmhaltung des Bades inbegriffen ist	330,0	39,6
	833	100		833	100,0

Wärmebilanz für den Ferromanganofen und 2700 kg Einsatz.

Wärmeeingang.	WE	%	Wärmeausgang.	WE	%
Durch elektr. Energie zugeführt .	1 944 000	100	Energie zum Umschmelzen des Fe Mn	826 000	42,5
			Schmelzen des Kalkes.	17 300	0,9
			Verluste:		
			Transformatorverlust	77 700	4,0
			Elektrische Leitungsverluste . . .	136 100	7,0
			Verluste der Kühlwassermenge der Elektrode	116 900	6,0
			Leitungs- u. Strahlungsverlust, in dem die Warmhaltung des Bades inbegriffen ist	770 000	39,6
	1 944 000	100		1 944 000	100,0

Als direkt nutzbare Leistung haben wir hier nur 43,4 % der gesamten eingesandten Energie, was für einen Elektroofen ein sehr geringer Wert wäre, wenn wir nicht berücksichtigen würden, daß wir es hier nicht mit einem Elektrostahlofen zum Erzeugen hochwertiger Stähle zu tun haben, sondern mit einem solchen, der zum Einschmelzen von Ferromangan dient und nur eine untergeordnete Rolle in Verbindung mit dem Thomasverfahren spielt.

Wie schon erwähnt, muß der Ofeninhalt ständig auf 1300 bis 1350 ° überhitzt sein, da er jederzeit zum Abstich bereit sein muß. Die Ueberhitzung des Ferromangans ist einerseits aber zur Durchführung des Verfahrens erforderlich, anderseits veranlaßt sie die großen Verluste durch Leitung und Strahlung.

Die Einschmelzkosten pro t flüssigen Ferromangans stellen sich folgendermaßen:

Stromverbrauch pro t 833 KWst zu 1,8 Pf.	15,00 ℳ
Elektrodenverbrauch	1,75 „
Arbeitslöhne pro t	1,50 „
Amortisation für die Zustellung pro t . .	0,50 „
Gesamtkosten pro t	18,75 ℳ

In der vorstehenden Wärmebilanz ist das erste Einschmelzen nach einer neuen Zustellung des Ofens

nicht mit einbegriffen, weil wir hierdurch ein falsches Bild gewinnen würden über die Wirkungsweise des Ofens. Die Zustellung ist eine einmalige Ausgabe, die sich auf die Zeitdauer des Ofenbetriebes bis zum Stillstand verteilt.

Um über die Kosten des ersten Einschmelzens ein Bild zu gewinnen, führe ich in nachstehendem eine Neuzustellung des Ofens an.

Der Ofen wird bis auf die unteren Elektroden ausgebrochen, dann mit schwarzer Masse aufgestampft und der Abschluß mit den Türen aus zwei Lagen Magnesitsteinen hergestellt. Es wird der Deckel aufgelegt, zunächst ein schwaches Holz- und Kohlenfeuer angebrannt u. nach Verlauf von einer Stunde etwas Koks nachgelegt. Sobald der Koks angebrannt und die obere Schicht der schwarzen Masse durch das erste Feuer einige Zentimeter getrocknet ist, wird der Strom durch den Koks geschickt. Es wurde festgestellt, daß der Stromverbrauch bei der Heizung mit Koks in der Stunde bedeutend geringer ist, als in der Stunde beim Einschmelzen von Ferromangan. Das dürfte wohl darauf zurückzuführen sein, daß der Koks bei den offenstehenden Türen lebhaft verbrennt und der Strom nur zu seiner Erhitzung auf Verbrennungstemperatur dient. Ferner ist Koks ein schlechterer Wärmeleiter als Ferromangan und dann ist der Verbrauch an elektrischer Energie (umgesetzt in Wärme) beim Einschmelzen von Ferromangan lokal konzentrierter. So wurde bei ungefähr sechs Erhitzungen des Ferromangansofens durch Strom festgestellt, daß während der Dauer von fünf Stunden ein Stromverbrauch von 631 KWst aufgewendet wurde, das macht auf die Zeitstunde 126,2 KWst oder bei einem Preis von 1,8 Pf. einen Stromverbrauch für die Neuzustellung von $631 \times 1{,}8 = 11{,}35$ ℳ. Die bei dieser Heizung verwendete Menge Koks beträgt nach eigener Feststellung rd. 300 kg. Die Tonne Koks kostet 16 ℳ, folglich ergibt sich ein Kostenaufwand von $300 \times 1{,}6 = 4{,}80$ ℳ. Es kostet demnach eine Anheizung nach einer neuen Zustellung:

für elektrischen Strom . . .	11,35 ℳ
„ Koks	4,80 „
„ Arbeitslöhne	2,00 „
Summa	18,15 ℳ

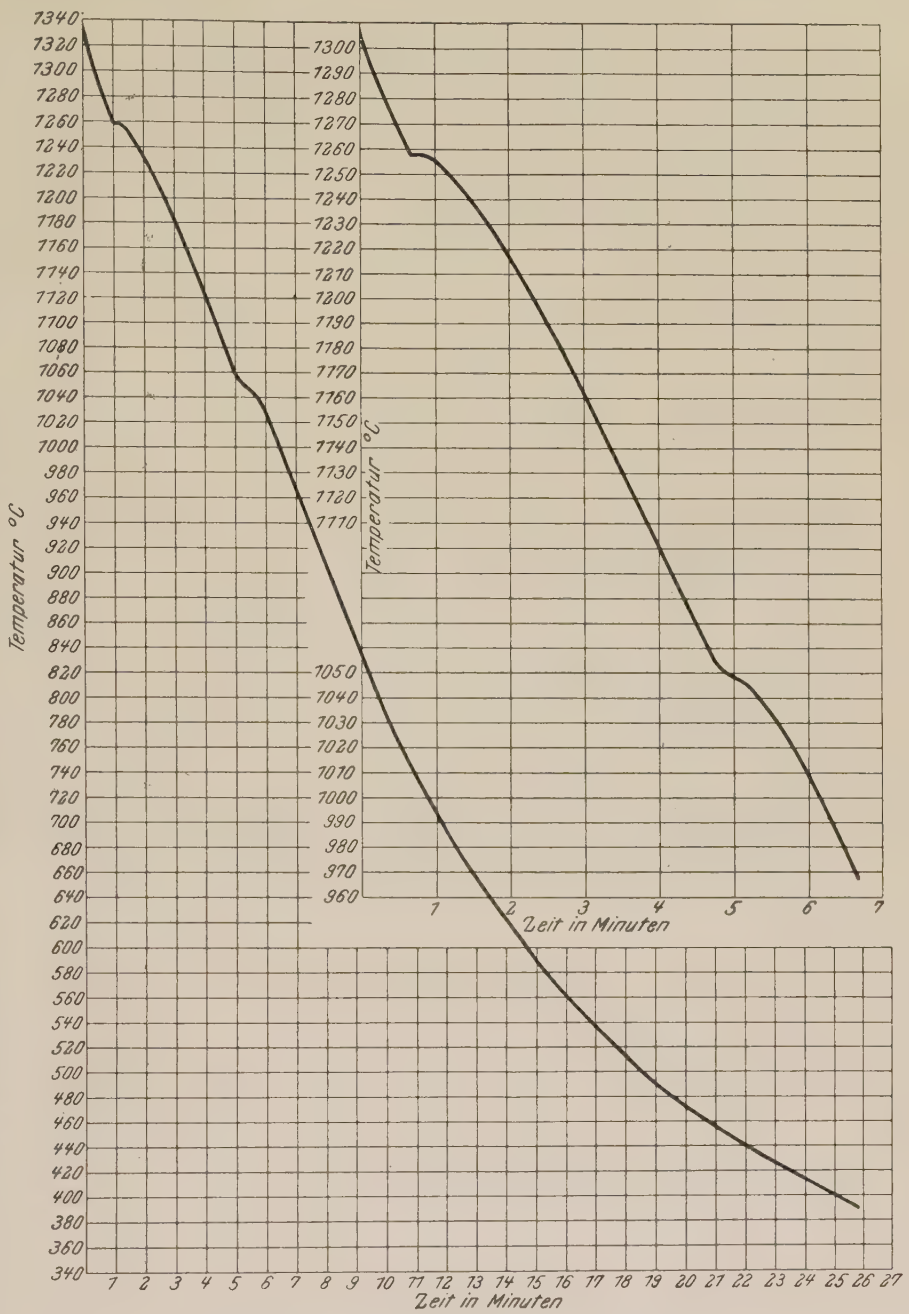

Abbildung 11. Abkühlungskurve des Ferromangans.

Feststellung der Verluste an Ferromangan beim Einschmelzen.

Zur Bestimmung des Ferromanganabbrandes wurde ein Einschmelzversuch gemacht, der folgende Werte ergab:

	kg	mit Mn %	kg Mn	kg Mn
Einsatz	2800	55,66	1558	—
Ausbringen:				
I. Blockausbringen .	2770	55,87	—	1547
II. Schlacke				
a) Pfannenschlacke	26	10,14	—	3
b) Ofenschlacke .	50	11,11	—	5
			1558	1555

Die Differenz zwischen Einsatz und Ausbringen ist gleich dem Abbrand.

Mn-Einsatz . . . . . 1558 kg
Mn-Blockausbringen . . . . . 1547 „

Mn-Verlust in Schlacke und Abbrand . . . . . 11 kg = 0,706 % von Mn-Einsatz.

Dies entspricht einem

Ferromangan-Einsatz (zu 55,66 %) = 2800 kg
„ Ausbringen (zu 55,87 %) = 2770 „

Ferromanganabbrand . . . . . 30 kg
= 1,07 % Ferromangan.

Die Ofenschlacke wurde vor dem Entleeren des Ofens mit Petrolkoks behandelt. Der Mangangehalt der Schlacke vor dem Petrolkokszusatz betrug 19,97 %, der Mangangehalt der Schlacke nach dem Petrolkokszusatz 11,11 %.

Wenn wir den Tatsachen entsprechend annehmen, daß die Ofenschlacke bei einem kontinuierlichen Betrieb uns erhalten bleibt und infolgedessen nicht zu den eigentlichen Verlusten gehört, bekommen wir insgesamt einen Manganverlust von 6 kg, das sind 0,385 %. Dies ist ein praktisch zu vernachlässigender Betrag.

Vergleichende Betrachtung über die Anwendung von festem (im Flammofen vorgewärmtem) und flüssigem (im Nathusiusofen überhitztem) Ferromangan.

Um über die wirtschaftlichen Vorteile der Anwendung von flüssigem Ferromangan im Vergleich zur Anwendung von festem Ferromangan ein Bild zu erhalten, sind Parallelversuche durchgeführt worden, deren Resultate in Zahlentafel 8 wiedergegeben sind.

In Vergleichszahlentafel 8 ist die Differenz im prozentualen Mn-Gehalt bei flüssigem und festem Ferromanganzusatz ausgerechnet. Diese Werte sind gefunden durch Multiplikation jedes Blockgewichtes mit dem entsprechenden Mn-Gehalt der Charge. Vorausgesetzt ist bei dieser Feststellung, daß die Desoxydation sowohl bei flüssigem, als auch bei festem Zusatz vollendet ist. Die Ausrechnung dieser Differenzen war aus dem Grunde unumgänglich nötig, als die mit flüssigem Ferromangan hergestellten Chargen weniger Mangan in der Fertigprobe zeigen, als die mit festem hergestellten.

Um ein richtiges Bild für den Verbrauch zwischen flüssigem und festem Ferromangan bei gleichem Mn-Gehalt der Fertigchargen zu gewinnen, habe ich in der Vergleichszahlentafel 9 diese Mn-Gehalte, umgerechnet in Ferromangan hinzuaddiert zu dem tatsächlichen Ferromanganverbrauch bei flüssigem Zusatz.

Die so festgestellte absolute Ersparnis in % ausgedrückt, ist aus der stark umrandeten Kolonne der Zahlentafel 9 zu ersehen.

Zur Veranschaulichung der Ersparnis durch den Zusatz von flüssigem Ferromangan ist in nachstehendem an Hand der Chargenbücher ein Beispiel durchgerechnet.

Im Monat Oktober wurden insgesamt 19 827 t Thomasblöcke erzeugt, davon 2000 t Schienenblöcke, so daß für weiches Material 17 827 t verbleiben. Wir hätten bei einem Ferromangan-Verbrauch von 0,75 % in festem Zustande bei weichem Material $17\,827 \times 0{,}75 = 133{,}702$ t. Bei einem Quantum von 2000 t Schienenmaterial würde sich der Verbrauch bei 0,15 % mehr auf $2000 \times 0{,}9 = 18{,}0$ t stellen.

Es ergäbe sich demnach für das Stahlquantum ein Gesamt-Verbrauch von 151,702 t Ferromangan.

Vergleichzahlentafel 8.

Datum	Flüssiges Fe Mn			Festes Fe Mn			Differenz in proz. Mn Gehalt bei flüssigem und festem Fe Mn Zusatz
	Blockgewicht in kg	Mn Gehalt des Blockgewichts kg	Durchschnittl. Mn Gehalt %	Blockgewicht in kg	Mn Gehalt des Blockgewichts gk	Durchschnittl. Mn Gehalt %	
31. 1.	19 160	86,4045	0,4530	498 860	2394,974	0,4800	0,027
1. 2.	86 990	322,8488	0,3711	341 510	1623,397	0,4900	0,1189
3. 2.	67 330	241,4830	0,3884	397 590	1810,800	0,4554	0,0670
4. 2.	62 290	256,0905	0,4111	343 270	1599,925	0,4660	0,0549

Vergleichszahlentafel 9.

Datum	Flüssiges Ferromangan					Festes Ferromangan			Ersparn. Fe Mn in
	Blockgewicht in kg	Tatsächlicher Ferromangan-Verbrauch kg	%	Berechneter[1]) Ferromangan-Verbrauch kg	%	Blockgewicht	Ferromangan-Verbrauch kg	%	%
31. 1.	19 160	120	0,61	129	0,67	498 860	4980	1,00	33
1. 2.	86 990	350	0,40	522	0,60	341 510	3700	1,08	44
3. 2.	67 330	280	0,42	355	0,53	397 590	4220	1,06	50
4. 2.	62 290	290	0,46	347	0,55	343 270	3710	1,08	51
							Im Mittel		44,3

[1]) Berechnet aus dem tatsächlichen Verbrauch und der Differenz zwischen dem prozentualen Mangangehalt bei flüssigem und festem Ferromanganzusatz.

Diese 151,702 t Ferromangan kosten bei 78%igem Ferromangan (die Tonne mit 204 ℳ gerechnet) = 151,702 × 204 = 30 847,21 ℳ. Der Verbrauch von Kohle zum Vorwärmen dieses festen Ferromangans stellt sich, wenn nach der praktischen Erfahrung zum Vorwärmen von 1 t Ferromangan 183 kg Kohle gebraucht werden, die Tonne mit 10 ℳ berechnet, 1,83 ℳ. 151,702 × 1,83 = 277,01 ℳ, in Summa 31 221,82 ℳ.

Im Monat Oktober betrug bei Anwendung von flüssigem Ferromangan der Verbrauch 0,55% pro Tonne gute Blöcke. Diese Prozentzahl auf die Produktion von 19 827 t Stahl bezogen, ergibt einen Ferromanganverbrauch von 109 049 t. Die Kosten von 109 049 t Ferromangan sind

109 000 × 049 =	22 246,00 ℳ

Stromverbrauch beim Schmelzen des Quantums Ferromangan (KWst mit 1,8 Pf. berechnet)

109 049 × 1,8 =	1 962,88 ℳ
Elektrodenverbrauch	208,00 ℳ
Ofenausmauerungs-Amortisation 50 Pf. pro Tonne	54,53 ℳ

Summa Kosten für 109 049 t flüssiges Ferromangan 24 471,41 ℳ.

Kosten für festes Ferromangan . . .	31 221,82 ℳ
Kosten für flüssiges Ferromangan . .	24 471,41 ℳ
Summa Ersparnis	6 750,41 ℳ

Bei einer Produktion von 19 827 t Stahlblöcken wurden 6750,41 ℳ gespart, bei 1 t demnach 0,34 ℳ.

Wir sehen, daß bei großen Betrieben die Ersparnis eine ganz erhebliche ist. Bei dem hastigen Arbeiten der heutigen Hüttenbetriebe bleibt, bei Verwendung von vorgewärmtem Ferromangan, diesem kaum Zeit, nach dem Zusatz zur Charge vollständig zu schmelzen und sich gleichmäßig zu verteilen, die unvollständige Ausnutzung bedingt einen erhöhten Ferromanganverbrauch, was einen erheblichen unnützen Kostenaufwand bei den heutigen hohen Ferromanganpreisen bedeutet. Ferner wird das Material ungleichmäßiger. Diese Uebelstände werden durch die Zuführung von flüssigem und überhitztem Ferromangan in die Thomascharge behoben, weil wir hierdurch mit bedeutend weniger Material eine viel schnellere und gleichmäßigere Durchmengung und infolgedessen eine viel gründlichere Desoxydation herbeiführen können.

Der Zweck der vorstehenden Untersuchung war die Aufstellung einer Wärmebilanz des Nathusiusofens als Ferromanganeinschmelzofen. Hierzu war es erforderlich, den elektrischen Kraftverbrauch des Nathusiusofens, die elektrischen Wärmeverluste, sowie den Wärmeinhalt des Ferromangans zu bestimmen. Hieran schlossen sich Untersuchungen über die Bestimmung der Manganverluste beim Einschmelzen im elektrischen Ofen, sowie die direkte Feststellung der Ersparnisse bei der Verwendung von flüssigem Ferromangan durch Vergleichschargen.

Die erste Anregung zur Anfertigung dieser Arbeit verdanke ich Herrn Hütteninspektor Heinrich Zoeller, Friedenshütte O. S., der mir auch die Durchführung der praktischen Versuche im großen ermöglichte. Die Laboratoriumsversuche wurden im Eisenhüttenmännischen Institut der Technischen Hochschule zu Breslau ausgeführt, dessen Vorstand, Herr Professor Simmersbach, mir bei meiner Arbeit stets lebhaftes Interesse entgegenbrachte. Nicht minder fand ich bei dem Abteilungsvorsteher im Eisenhüttenmännischen Institut, Herrn Professor Dr.-Ing. Oberhoffer, ständig großes Entgegenkommen und bereitwillige Unterstützung mit Rat und Tat.

Allen genannten Herren spreche ich an dieser Stelle meinen besten Dank aus.

Lebenslauf des Verfassers.

Am 22. Juli 1888 wurde ich in Malaczka (Ungarn) geboren als Sohn des fürstlich N. Palffyschen Forstmeisters Gustav Adolf Bittner. Nach Absolvierung des humanistischen Gymnasiums in Preßburg erledigte ich meine Militärdienstzeit beim Feldkanonenregiment Nr. 6 in Wien. Dann studierte ich an der Technischen Hochschule in München, woselbst ich 1911 das Diplom-Examen als Maschineningenieur bestand. Von 1911 bis 1914 studierte ich an der Technischen Hochschule zu Breslau Eisenhüttenkunde und fertigte während dieser Zeit meine Doktordissertation an, deren praktischen Teil ich bei der Oberschlesischen Eisenbahnbedarfs - Aktien - Gesellschaft durchführte. Die Einreichung der Doktorarbeit erfolgte am 12. März 1914.